



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2003194648 A

(43) Date of publication of application: 09.07.2003

(51) Int. Cl. G01L 19/04

G01F 1/50, G01L 9/00, G05D 16/20

(21) Application number: 2001399910

(22) Date of filing: 28.12.2001

(71) Applicant: OMI TADAHIRO

TOKYO ELECTRON LTD

FUJIKIN INC

(72) Inventor: OMI TADAHIRO

SUGIYAMA KAZUHIKO

NISHINO KOJI

UNO TOMIO

NAKAMURA OSAMU

MATSUMOTO ATSUSHI

DOI RYOSUKE

IKEDA SHINICHI

(54) PRESSURE SENSOR, PRESSURE  
CONTROLLER, AND TEMPERATURE DRIFT  
CORRECTION DEVICE OF PRESSURE TYPE  
FLOW CONTROLLER

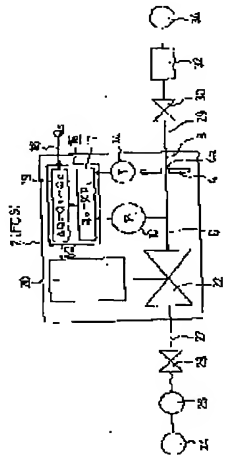
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a pressure sensor, a pressure controller and a flow controller capable of correctly detecting pressure regardless of temperature variation by automatically correcting the temperature drift of the pressure sensor.

SOLUTION: This temperature drift correction device of the pressure type flow controller, in which an upstream-side pressure sensor 10 for sensing upstream-side pressure  $P_1$  is installed between an orifice 4 and a control valve 22, and an orifice passing flow rate is controlled by opening and closing the control valve 22 while calculating the orifice passing flow rate by the upstream-side pressure  $P_1$ , comprises a temperature sensor 14 for measuring a fluid temperature; a memory means 64 for storing the relationship between the fluid temperature T and the output drift of the pressure sensor 10; and a temperature drift correction means for calculating the output drift amount of the pressure sensor 10 from data of the memory means 64 when the fluid temperature T changes and for eliminating and correcting the output drift of the pressure sen-

sor 10 by the calculated output drift amount. By this structure, the temperature drift of the pressure sensor can be automatically corrected to accomplish correct flow control.

COPYRIGHT: (C)2003.JPO



(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2003-194648

(P2003-194648A)

(43) 公開日 平成15年7月9日(2003.7.9)

(51)Int.Cl. 7	識別記号	F I	テマコード(参考)	
G 0 1 L	19/04	G 0 1 L	19/04	2F030
G 0 1 F	1/50	G 0 1 F	1/50	2F055
G 0 1 L	9/00	G 0 1 L	9/00	Z 5H316
G 0 5 D	16/20	G 0 5 D	16/20	N

審査請求 未請求 請求項の数 7

O L

(全 12 頁)

(21) 出願番号 → Appl. No. 特願2001-399910(P2001-399910)

(22) 出願日 平成13年12月28日(2001.12.28)

(71) 出願人 000205041

大見 忠弘

宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2-1-17-301

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂五丁目3番6号

(71) 出願人 390033857

株式会社フジキン

大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号

(74) 代理人 100082474

弁理士 杉本 丈夫 (外1名)

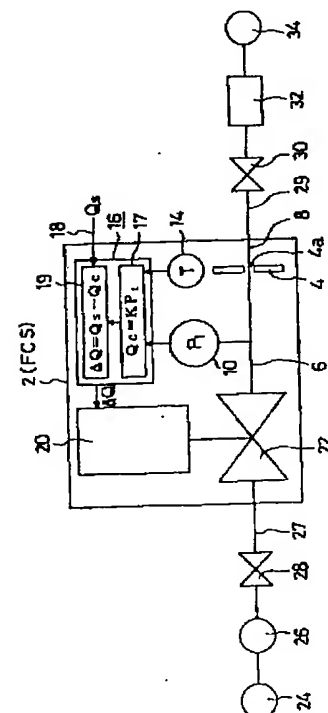
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧力センサ、圧力制御装置及び圧力式流量制御装置の温度ドリフト補正装置

(57) 【要約】

【課題】 圧力センサの温度ドリフトを自動補正して温度変動に拘わらず圧力を正確に検出できる圧力センサ、圧力制御装置及び流量制御装置を開発する。

【解決手段】 本発明に係る圧力式流量制御装置の温度ドリフト補正装置は、オリフィス4とコントロールバルブ22の間に上流側圧力 $P_1$ を検出する上流側圧力センサ10を設け、上流側圧力 $P_1$ によりオリフィス通過流量を演算しながらコントロールバルブ22の開閉によりオリフィス通過流量を制御する圧力式流量制御装置において、流体温度を測定する温度センサ14と、流体温度 $T$ と上流側圧力センサ10の出力ドリフトの関係を格納するメモリ手段64と、流体温度 $T$ が変化した場合にメモリ手段64のデータから上流側圧力センサ10の出力ドリフト量を演算し、この演算出力ドリフト量により上流側圧力センサ10の出力ドリフトを消去補正する温度ドリフト補正手段から構成される。この構成により、圧力センサの温度ドリフトを自動補正して、正確な流量制御を可能とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 流体圧力を測定する圧力センサにおいて、流体温度を測定する温度センサと、流体温度と圧力センサ出力ドリフトの関係を格納するメモリ手段と、流体温度が変化した場合にメモリ手段のデータから圧力センサ出力ドリフト量を演算し、この演算出力ドリフト量により圧力センサの出力ドリフトを消去補正する温度ドリフト補正手段から構成され、流体温度が変動しても流体圧力を正確に測定することを特徴とする圧力センサの温度ドリフト補正装置。

【請求項 2】 圧力制御用のコントロールバルブと流体圧力を測定する圧力センサから構成された圧力制御装置において、流体温度と圧力センサ出力ドリフトの関係を格納するメモリ手段と、流体温度が変化した場合にメモリ手段のデータから圧力センサ出力ドリフト量を演算し、この演算出力ドリフト量により圧力センサの出力ドリフトを消去補正する温度ドリフト補正手段から構成され、流体温度が変動しても流体圧力を正確に制御することを特徴とする圧力制御装置の温度ドリフト補正装置。

【請求項 3】 流量制御用のオリフィスと、オリフィスの上流側配管に設けたコントロールバルブと、オリフィスとコントロールバルブの間に設けて上流側圧力  $P_1$  を検出する上流側圧力センサから構成され、上流側圧力  $P_1$  によりオリフィス通過流量を制御する圧力式流量制御装置において、流体温度を測定する温度センサと、流体温度と上流側圧力センサの出力ドリフトの関係を格納するメモリ手段と、流体温度が変化した場合にメモリ手段のデータから上流側圧力センサの出力ドリフト量を演算し、この演算出力ドリフト量により上流側圧力センサの出力ドリフトを消去補正する温度ドリフト補正手段から構成され、流体温度が変動しても流体流量を正確に制御することを特徴とする圧力式流量制御装置の温度ドリフト補正装置。

【請求項 4】 流量制御用のオリフィスと、オリフィスの上流側配管に設けたコントロールバルブと、オリフィスとコントロールバルブの間に設けて上流側圧力  $P_1$  を検出する上流側圧力センサと、オリフィスの下流側配管に設けられて下流側圧力  $P_2$  を検出する下流側圧力センサとから構成され、上流側圧力  $P_1$  と下流側圧力  $P_2$  によりオリフィス通過流量を制御する圧力式流量制御装置において、流体温度を測定する温度センサと、流体温度と上流側圧力センサ及び下流側圧力センサの出力ドリフトの関係を格納するメモリ手段と、流体温度が変化した場合にメモリ手段のデータから上流側圧力センサ及び下流側圧力センサの出力ドリフト量を演算し、この演算出力ドリフト量により上流側圧力センサ及び下流側圧力センサの出力ドリフトを消去補正する温度ドリフト補正手段から構成され、流体温度が変動しても流体流量を正確に制御することを特徴とする圧力式流量制御装置の温度ドリフト補正装置。

【請求項 5】 前記メモリ手段は圧力がゼロのときに流体温度と圧力センサのゼロ点出力ドリフトの関係を格納し、前記温度ドリフト補正手段は、流体温度が変化した場合にメモリ手段のゼロ点出力ドリフト量を演算し、この演算ゼロ点出力ドリフト量により圧力センサのゼロ点出力ドリフトを消去補正する請求項 1、2、3 又は 4 に記載の温度ドリフト補正装置。

【請求項 6】 前記メモリ手段は任意圧力における流体温度と圧力センサのスパン出力ドリフトの関係を格納し、流体温度が変化した場合にメモリ手段からスパン出力ドリフト量を演算し、圧力センサの出力又はこの出力の増幅量から前記演算スパン出力ドリフト量を消去補正する請求項 1、2、3 又は 4 に記載の温度ドリフト補正装置。

【請求項 7】 請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の温度ドリフト補正装置において、ガスを流体として流通させ、このガス圧力又はガス流量を制御するガス供給システムの温度ドリフト補正装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は主として半導体製造設備や化学プラント等で使用される圧力センサ、圧力制御装置又は圧力式流量制御装置に関し、更に詳細には、流体の圧力を計測する圧力センサの出力が温度変動によりドリフトする場合に、その温度ドリフトを自動的に消去することにより正確に流体圧力を検出して流体の圧力や流量を制御できる圧力センサ、圧力制御装置又は圧力式流量制御装置の温度ドリフト補正装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】半導体製造設備や化学プラントなどでは、原料となる複数のガスを所定の流量で供給し、原料ガスを反応炉の中で化学反応させて目的ガスを生成する場合が多い。このような場合に、原料ガスの供給流量が正確でないと化学反応に過不足が生じ、目的ガスの中に原料ガスが残留する事態が生じる。特に、この原料ガスが引火性の場合には爆発の危険性が付きまとう。従って、原料ガスの化学反応を過不足無く行なうために、ガス流量を正確に供給制御することが必要となる。

【0003】従来、ガス流量を正確に制御するために、配管内にオリフィスを配置し、オリフィスを通過する理論流量を表現する出来るだけ精度の良い流量式が選択されてきた。最初に用いられた流量式は流体を非圧縮性流体として近似するもので、 $Q_c = K P_2^{1/2} (P_1 - P_2)^{1/2}$  で表される。 $P_1$  はオリフィスより上流側の圧力、また  $P_2$  はオリフィスより下流側の圧力を示す。 $K$  は流体温度に依存した比例定数である。この流量式は  $P_1$  と  $P_2$  の二つの圧力パラメータで制御される。

【0004】実際のガス流は圧縮性流体であるから、上式の精度は良くない。そこで、圧力比  $P_2/P_1$  を約 0.

50 5 の臨界値より小さくすると、オリフィスを通過するガ

スの流速が音速に達し、この音速領域では理論流量式が  $Q_c = K P_1$  になることが知られている。臨界条件が満足される限り、この式は上流側流量  $P_1$  にのみ依存する単純性を有するだけでなく、圧縮性流体に対する正確なオリフィス通過流量を与えることでも知られている。

【0005】従って、非圧縮性流体という近似制御では  $Q_c = K P_2^{1/2} (P_1 - P_2)^{1/2}$  が使用され、臨界条件 ( $P_2/P_1 < 約0.5$ ) では  $Q_c = K P_1$  が流量制御に主に使用されている。これらの流量式を使用する場合に、流体圧力  $P_1$  又は  $P_2$  の測定が前提になる。即ち、前者においては上流側圧力  $P_1$  と下流側圧力  $P_2$  の同時測定を要し、また後者では上流側圧力  $P_1$  の測定を要する。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】流体圧力を測定するには、流体中に圧力センサを配置することが必要になる。従って、圧力センサは流体温度に極めて敏感になり、直ぐに流体温度  $T$  と同一、即ち流体と平衡温度に到達する。流体圧力を正確に測定するには、圧力センサのサイズは流体の流れを撓乱しない程度に小さくする必要がある、この場合には平衡温度への到達速度は極めて速いと考えられる。

【0007】配管を流れるガス流体はできるだけ一定温度で流通するように制御されているが、実際の長時間流通では、かなりの温度変動が存在することが知られている。また、ガス流体を交換して流通させる場合には、ある時間帯では高温ガスが流れ、他の時間帯では低温ガスが流れることがある。従って、温度変動する流体を同一の圧力センサで計測すると、圧力センサ出力の温度ドリフト特性が問題となり、検出された流体圧力を補正する必要が生じる。

【0008】従来の圧力センサには、圧力の検出方式がどのようなものであれ必ず温度ドリフトが存在する。温度ドリフトとは、圧力センサの周囲の環境温度が変化したときに、圧力センサの出力が同じ圧力に対して変動することを云う。この出力ドリフトは流体温度と相関があることが判明している。

【0009】個々の圧力センサについては、温度補償回路が組み込まれているものも存在するが、この場合においても、温度ドリフトが例えば  $0.05\%/^{\circ}\text{C}$  であれば、 $20^{\circ}\text{C}$  から  $100^{\circ}\text{C}$  に変化する場合には、 $4\%$  の出力ドリフトが発生することになる。

【0010】圧力センサには各種の形式があるが、一例としてストレインゲージを考えてみる。ストレインゲージは圧力を電圧に変換し、横軸を圧力にとると縦軸が出力電圧に対応した関係になる。当然、絶対圧力がゼロの場合に出力電圧はゼロになり、絶対圧力の増加に従って出力電圧が増加することが期待される。

【0011】圧力センサに加わる圧力がゼロのときのセンサ出力をゼロ点出力と云い、ゼロ点が温度変化に応じて変動する温度ドリフトをゼロ点出力ドリフトと呼ぶ。

これに対し、加圧時のセンサ出力の温度ドリフトをスパン出力ドリフトと呼ぶ。正確なセンサ出力を得るためには、ゼロ点出力ドリフトとスパン出力ドリフトの両者の調整が必要になる。

【0012】具体的に考えると、仮に圧力センサのゼロ点出力ドリフトが無く、そのゼロ点電圧が  $0\text{ (V)}$  であるとしよう。今、流体の絶対圧力が  $1.0 (\times 10^2 \text{ kPa})$ 、即ち  $1 \text{ atm}$  のとき、圧力センサの出力電圧が  $20 \text{ mV}$  であるとする。この状態で流体温度を変化させた場合、当然にその出力電圧は  $20 \text{ mV}$  から変化する。この変動が前述したスパン出力ドリフトである。実際には、ゼロ点出力ドリフトがあるため、任意圧力におけるスパン出力ドリフトにはゼロ点電圧が加算されて出現する。

【0013】このように、上流側圧力  $P_1$  又は下流側圧力  $P_2$  を測定しながらオリフィス通過流量を制御する圧力式流量制御装置では、圧力センサの出力電圧にゼロ点出力ドリフトとスパン出力ドリフトという温度変動特性が含まれる。従って、その出力電圧を直接圧力に変換すると圧力  $P_1$ 、 $P_2$  に誤差が含まれる事になり、前述した流量式に従って演算流量  $Q_c$  に誤差を導入することになる。この問題が圧力式流量制御装置における温度ドリフトの問題である。

【0014】圧力センサが有するゼロ点及びスパンの温度ドリフト特性は個々の圧力センサにより異なるが、圧力センサの温度ドリフトを補正する方法を確立することによって、正確なセンサ出力を得ることが要望されてきた。

【0015】従って、本発明に係る温度ドリフト補正装置は、温度変動による圧力センサのゼロ点出力ドリフト及び／又はスパン出力ドリフトを制御回路や制御ソフトにより自動補正して、流体圧力を正確に測定することを目的とする。また、この圧力センサを有した圧力制御装置や圧力式流量制御装置に関しても、圧力センサのゼロ点出力ドリフト及び／又はスパン出力ドリフトを補正して、正確に圧力制御や流量制御を実現する圧力制御装置や圧力式流量制御装置を開発することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明は、流体圧力を測定する圧力センサにおいて、流体温度を測定する温度センサと、流体温度と圧力センサ出力ドリフトの関係を格納するメモリ手段と、流体温度が変化した場合にメモリ手段のデータから圧力センサ出力ドリフト量を演算し、この演算出力ドリフト量により圧力センサの出力ドリフトを消去補正する温度ドリフト補正手段から構成され、流体温度が変動しても流体圧力を正確に測定することを特徴とする圧力センサの温度ドリフト補正装置である。

【0017】請求項2の発明は、圧力制御用のコントロールバルブと流体圧力を測定する圧力センサから構成さ

れた圧力制御装置において、流体温度と圧力センサ出力ドリフトの関係を格納するメモリ手段と、流体温度が変化した場合にメモリ手段のデータから圧力センサ出力ドリフト量を演算し、この演算出力ドリフト量により圧力センサの出力ドリフトを消去補正する温度ドリフト補正手段から構成され、流体温度が変動しても流体圧力を正確に制御することと特徴とする圧力制御装置の温度ドリフト補正装置である。

【0018】請求項3の発明は、流量制御用のオリフィスと、オリフィスの上流側配管に設けたコントロールバルブと、オリフィスとコントロールバルブの間に設けて上流側圧力 $P_1$ を検出する上流側圧力センサから構成され、上流側圧力 $P_1$ によりオリフィス通過流量を制御する圧力式流量制御装置において、流体温度を測定する温度センサと、流体温度と上流側圧力センサの出力ドリフトの関係を格納するメモリ手段と、流体温度が変化した場合にメモリ手段のデータから上流側圧力センサの出力ドリフト量を演算し、この演算出力ドリフト量により上流側圧力センサの出力ドリフトを消去補正する温度ドリフト補正手段から構成され、流体温度が変動しても流体流量を正確に制御することと特徴とする圧力式流量制御装置の温度ドリフト補正装置である。

【0019】請求項4の発明は、流量制御用のオリフィスと、オリフィスの上流側配管に設けたコントロールバルブと、オリフィスとコントロールバルブの間に設けて上流側圧力 $P_1$ を検出する上流側圧力センサと、オリフィスの下流側配管に設けられて下流側圧力 $P_2$ を検出する下流側圧力センサとから構成され、上流側圧力 $P_1$ と下流側圧力 $P_2$ によりオリフィス通過流量を制御する圧力式流量制御装置において、流体温度を測定する温度センサと、流体温度と上流側圧力センサ及び下流側圧力センサの出力ドリフトの関係を格納するメモリ手段と、流体温度が変化した場合にメモリ手段のデータから上流側圧力センサ及び下流側圧力センサの出力ドリフト量を演算し、この演算出力ドリフト量により上流側圧力センサ及び下流側圧力センサの出力ドリフトを消去補正する温度ドリフト補正手段から構成され、流体温度が変動しても流体流量を正確に制御することと特徴とする圧力式流量制御装置の温度ドリフト補正装置である。

【0020】請求項5の発明は、前記メモリ手段は圧力がゼロのときに流体温度と圧力センサのゼロ点出力ドリフトの関係を格納し、前記温度ドリフト補正手段は、流体温度が変化した場合にメモリ手段のゼロ点出力ドリフト量を演算し、この演算ゼロ点出力ドリフト量により圧力センサのゼロ点出力ドリフトを消去補正する請求項1、2、3又は4に記載の温度ドリフト補正装置である。

【0021】請求項6の発明は、前記メモリ手段は任意圧力における流体温度と圧力センサのスパン出力ドリフトの関係を格納し、流体温度が変化した場合にメモリ

手段からスパン出力ドリフト量を演算し、圧力センサの出力又はこの出力の増幅量から前記演算スパン出力ドリフト量を消去補正する請求項1、2、3又は4に記載の温度ドリフト補正装置である。

【0022】請求項7の発明は、請求項1乃至5のいずれか1項に記載の温度ドリフト補正装置において、ガスを流体として流通させ、このガス圧力又はガス流量を制御するガス供給システムである。

【0023】

10 【発明の実施の形態】本発明者等は、温度変化による圧力センサのゼロ点出力ドリフトやスパン出力ドリフトを分析することによって、圧力センサのみならず、圧力センサを使用する圧力制御装置や圧力式流量制御装置の温度ドリフトをも補正できる方法を創案するに到った。以下に、本発明に係る圧力式流量制御装置の温度ドリフト補正装置の実施形態を図面に従って詳細に説明する。

【0024】図1は本発明に係る臨界条件を利用した圧力式流量制御装置による流量制御の構成図である。この圧力式流量制御装置2は、供給される流体が臨界条件にある場合、即ちオリフィス4から流出する流体の流体速度が音速である場合を前提としているため、流量は $Q = KP_1$ で表され、圧力測定は上流側圧力センサ10だけで行なわれる。

【0025】この圧力式流量制御装置2には、オリフィス孔4aを形成したオリフィス4、上流側配管6、下流側配管8、上流側圧力センサ10、温度センサ14、制御回路16、バルブ駆動部20及びコントロールバルブ22が配置されている。

30 【0026】制御回路16は電子回路とマイクロコンピュータと内蔵プログラムを中心に構成されているが、電子回路だけで構成してもよいし、電子回路とパーソナルコンピュータで構成してもよい。この制御回路16は、図示しない増幅回路やA/D変換器などの電子回路系と、実験流量式による流量 $Q_c$ を演算する流量演算手段17と、流すべき設定流量 $Q_s$ を指令する流量設定手段18と、演算流量 $Q_c$ と設定流量 $Q_s$ の流量差 $\Delta Q (= Q_s - Q_c)$ を計算する比較手段19から構成されている。流量差 $\Delta Q$ は $Q_c - Q_s$ により算出されてもよい。

40 【0027】この圧力式流量制御装置2の上流側には、高圧ガスを内蔵するガスタンク24と、この高圧ガスのガス圧力を適度に調整するレギュレータ26と、このガスを供給側配管27からコントロールバルブ22に供給するバルブ28が接続されている。

【0028】また、圧力式流量制御装置2の下流側には、流量制御されたガスを流通させる制御側配管29と、このガスをチャンバー32に供給するバルブ30と、真空ポンプ34が連結されている。チャンバー32は供給される原料ガスから目的ガスを生成する反応室で、例えばH<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>の原料ガスからH<sub>2</sub>Oの水分ガスを生成する反応室である。

【0029】次に、この圧力式流量制御装置2の制御動作を説明する。上流側では供給側配管27に所定圧力のガスが供給され、更にバルブ駆動部20により開閉制御されるコントロールバルブにより上流側配管6への供給流量が制御される。同時に、下流側ではドライポンプ34により下流側配管8が低圧に設定されている。

【0030】真空ポンプ34による排気で、下流側配管8内の下流側圧力 $P_2$ は上流側圧力 $P_1$ よりもかなり小さく設定され、少なくとも $P_2/P_1 < 約0.5$ の臨界条件は常に満足されるように自動的に設定されるから、オリフィス4aから流出するガス速度は音速となっている。従って、オリフィス4の通過流量 $Q$ は $Q = KP_1$ が成立している。

【0031】上流側圧力 $P_1$ は圧力センサ10により計測される。正確な圧力測定をするため、圧力センサ10のセンサ部分はガス流に接触して配置され、しかもガス流を攪乱しないように、そのセンサ部分は極めて小さく設計されている。従って、センサ部分はガス温度 $T$ に等しくなっている。

【0032】またガス温度 $T$ も温度センサ14により計測されている。温度センサ14はガス流を攪乱しないようにオリフィス4の近傍温度を測定しており、ガスとオリフィスが熱平衡にあれば両者の温度は等しくなるから、オリフィス温度をガス温度として測定する。

【0033】上流側圧力 $P_1$ とガス温度 $T$ は電圧として得られ、図示しない増幅回路やA/D変換器によりデジタル信号になる。これらのデジタル信号は流量演算手段17に入力され、ガス温度 $T$ とガス物性から比例係数 $K$ が算出され、また上流側圧力 $P_1$ を利用して、演算流量 $Q_c$ が $Q_c = KP_1$ により算出される。

【0034】流量設定手段18からは目的となる設定流量 $Q_s$ が入力されており、比較手段19により流量差 $\Delta Q$ が $\Delta Q = Q_s - Q_c$ として演算される。この流量差 $\Delta Q$ として $\Delta Q = Q_c - Q_s$ が用いられてもよい。

【0035】この流量差 $\Delta Q$ はバルブ駆動部20に出力され、 $\Delta Q$ をゼロにする方向にコントロールバルブ22の開度を調整する。この開度調整により、ガスの上流側圧力 $P_1$ が可変調整され、 $Q_c = KP_1$ によって得られる演算流量 $Q_c$ が設定流量に等しくなるように制御される。

【0036】前述したように、圧力センサ10のセンサ部分はガス温度 $T$ に等しくなっており、ガス温度 $T$ が変動すると、それに連れてセンサ部分の温度も変化する。しかし、圧力センサは温度依存性を有し、圧力センサの出力電圧が温度変動に従ってドリフトする。この出力ドリフトの補正について次に述べる。

【0037】図2は圧力式流量制御装置のゼロ点出力ドリフト補正用の簡易ブロック回路図である。圧力センサ10の出力電圧 $v$ は固定増幅回路42及び可変増幅回路44によって圧力電圧 $V$ にまで増幅される。圧力電圧 $V$

はA/D変換器48を介してCPU41に入力される。また、固定増幅回路42の出力は他の可変増幅回路46にも出力され、この可変増幅回路46の出力も圧力電圧 $V$ を与え、上流側圧力 $P_1$ として表示板に表示される。

【0038】この実施形態で用いられる圧力センサ10は、例えば絶対圧で $P_1 = 7$ 気圧、即ち $7 \times 10^2 \text{ kPa}$ （ $7 \times 10^5 \text{ Pa}$ ）を感じたときに $100 \text{ mV}$ を出力すると仮定する。この圧力センサ10を用いて $P_1 = 0 \sim 3 \times 10^2 \text{ kPa}$ （ $0 \sim 3 \times 10^5 \text{ Pa}$ ）の範囲で上流側圧力 $P_1$ を制御すると、圧力センサ10の出力電圧 $v$ は $v = 0 \sim 42.86 \text{ mV}$ の範囲になる。

【0039】この出力電圧 $v$ の最大電圧 $42.86 \text{ mV}$ をフルスケールの $5 \text{ V}$ に増幅するとすれば、増幅率は $117$ 倍となる。この実施形態では、 $117$ 倍の増幅率は、前記固定増幅器42で $100$ 倍、可変増幅器44、46で $1.17$ 倍にして実現されている。

【0040】しかし、圧力センサ10の出力は温度変動によりドリフトする。圧力ゼロのときにおける出力ドリフトをゼロ点出力ドリフトと呼び、任意の圧力を受けているときのドリフトを出力ドリフトと呼ぶことにする。

【0041】ゼロ点出力ドリフトは固定増幅器42のオフセット端子42aを調整することによって補正される。ゼロ点出力ドリフト補正はオフセット用D/A変換器40によって実現される。即ち、圧力がゼロのときに出力電圧 $v$ がある値 $v_0$ を示したとき、このゼロ点出力ドリフト電圧 $v_0$ をゼロにするように、オフセット端子42aに $-v_0$ を入力する。この結果、圧力がゼロのときに、 $v_0$ が固定増幅器42に入力しても、実効入力電圧は $v_0 + (-v_0) = 0$ となり、ゼロ点出力ドリフト補正が行なわれる。

【0042】オフセット用D/A変換器40は、粗調整用（ROUGH）のD/A変換器40aとバッファ40c、微調整用（FINE）のD/A変換器40bとバッファ40d及び合成用のバッファ40eから構成される。このように、粗調整用回路と微調整用回路により、ゼロ点出力ドリフト電圧 $v_0$ を反転したゼロ点補正電圧 $-v_0$ をオフセット端子42aに印加して、ゼロ点出力ドリフトを消去するように補正している。

【0043】図3はゼロ点出力ドリフト補正とフルスケール設定の説明図である。横軸は上流側圧力 $P_1$ を示し、縦軸は出力電圧 $v$ と圧力電圧 $V$ を示している。圧力範囲は $P_1 = 0 \sim P_{1m}$ で、最大圧力は $P_{1m} = 3.0 \times 10^2 \text{ kPa}$ （ $3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ）とする。ガス温度 $T$ が $T_0$ のとき、ゼロ点出力ドリフトは $v_0 = -2.0 \text{ mV}$ 、最大圧力においてセンサ最大出力は $v_1 = 40.8 \text{ mV}$ であるとする。

【0044】 $v_0$ と $v_1$ を結んだドット線が圧力センサ10の温度特性である。オフセット端子42aに $-v_0$ を印加すると、 $v_0 + (-v_0) = 0$ により $v_0$ は $0 \text{ mV}$ へと消去補正され、Zero-Adjで示されている。その結果、最大圧力 $P_{1m}$ においても $v_1 + (-v_0) = 40.8 +$

2.  $0 = 42.8 \text{ mV}$  になる。従って、圧力センサ 10 の出力はゼロ点ドリフト補正により  $0 \sim 42.8 \text{ mV}$  へと補正される。この補正は破線により表されている。

【0045】次に、この圧力センサ 10 のフルスケール設定を行なう。Zero-Adj 後の圧力センサの出力が  $0 \sim v_1 + (-v_0)$ 、即ち  $0 \sim 42.8 \text{ mV}$  であるとき、これをフルスケール  $5 \text{ V}$  に設定する。即ち、 $42.8 \text{ mV}$  を  $5 \text{ V}$  に増幅するため、可変増幅器 44、46 の増幅率を  $1.17$  とし、その結果、2 段増幅率は  $M = 100 \times 1.17 = 117$  に設定される。この補正は Span-Adj で表されている。

【0046】従って、最大電圧  $V_m$  は  $V_m = M(v_1 - v_0)$  で与えられ、任意圧力  $P_1$  での圧力センサ 10 の出力  $v$  は、 $V = M(v - v_0)$  へと増幅される。この増幅出力  $V$  は実線によって表され、臨界条件ではこの実線は  $V = a(T_0)P_1$  を表す。比例定数  $a(T_0)$  はガス温度  $T$  が  $T_0$  における比例定数を与える。

【0047】図 4 は圧力センサの出力ドリフトを測定する説明図である。圧力センサ 10 は圧力式流量制御装置に組み込んだ状態で恒温槽 50 に設置し、恒温槽 50 の外側に配置した真空ポンプ DP および基準圧力発生器 52 を配管で圧力式流量制御装置と接続する。

【0048】真空ポンプ DP で配管内をゼロ圧力（真空）、即ち  $P_1 = 0$  ( $\times 10^2 \text{ kPa}$ ) に設定し、温度を変化させながら圧力センサ 10 のゼロ点出力ドリフト電圧  $v_0$  を測定する。また、バルブを切替えて基準圧力発生器 52 の圧力  $P_1$  を特定の圧力に設定し、温度を変化させながら圧力センサ 10 の出力電圧  $v$  を測定する。

【0049】図 5 は圧力センサのゼロ点出力ドリフト (ZERO DRIFT) の一例の温度特性図である。横軸はガス温度  $T$  であり、縦軸はゼロ点出力ドリフト電圧  $v_0$  の相対比率  $k(T)$  である。0% のドットラインはドリフトが無い理想的な [ideal] Line を示し、折線は実際に測定されたゼロ点出力ドリフトを与える。このドリフトは  $60^\circ\text{C}$  でゼロ、 $85^\circ\text{C}$  で 2.0% 程度である。この相対比率  $k(T)$  をゼロ点出力ドリフト電圧  $v_0$  に換算して、前述したオフセット端子 42a に印加する。

【0050】図 6 は圧力センサの出力ドリフト (SPAN DRIFT) の温度特性図である。横軸はガス温度  $T$  であり、縦軸は特定圧力に対するスパン出力ドリフト電圧  $v$  の相対比率  $\Delta(T)$  である。3 種類の圧力、1.5、2.0、3.0 ( $\times 10^2 \text{ kPa}$ ) に関して出力ドリフトが測定され、出力ドリフトは圧力が変わると僅かな違いを見せるだけである事が分かった。例えば  $60^\circ\text{C}$  以下のような温度が低い場合には、圧力の違いは無視できることが分かる。従って、これらのドリフトを平均して、任意圧力に対し同一幅の出力ドリフトがあるとして補正をすることができる。

【0051】図 7 は圧力式流量制御装置の制御回路の詳細ブロック構成図である。圧力センサ 10、固定増幅器

42、可変増幅器 44・46、A/D 変換器 48、オフセット用 D/A 変換器 40 は図 2 と同一であるから、その説明を省略する。

【0052】温度センサ 14 により測定されたガス温度出力は、固定増幅器 56 により増幅されてガス温度  $T$  となり、A/D 変換器 58 を介して CPU 41 に入力される。このガス温度  $T$  は温度ドリフト補正手段 60 とガス温度補正手段 68 に入力される。

【0053】温度ドリフト補正手段 60 は、ゼロ点補正手段 62、メモリ手段 64 及びスパン補正手段 66 から構成されている。メモリ手段 64 には、図 5 に示されるゼロ点出力ドリフトの相対比率  $k(T)$  と図 6 に示される出力ドリフトの相対比率  $\Delta(T)$  のデータが格納されている。

【0054】ガス温度  $T$  がゼロ点補正手段 62 に入力されると、メモリ手段 64 から必要なゼロ点出力ドリフトの相対比率データ  $k$  が取り出され、ガス温度  $T$  における相対比率  $k(T)$  が計算される。この計算された相対比率  $k(T)$  からゼロ点出力ドリフト電圧  $v_0$  が演算され、この反転電圧  $-v_0$  がオフセット用 D/A 変換器 40 を介してオフセット端子 42a に印加されて、ゼロ点出力ドリフトが自動的に補正される。

【0055】また、ガス温度  $T$  がスパン補正手段 66 に入力されると、メモリ手段 66 から必要な出力ドリフトの相対比率データ  $\Delta$  が取り出され、ガス温度  $T$  における相対比率  $\Delta(T)$  が計算される。この計算された相対比率  $\Delta(T)$  と A/D 変換器 48 から入力された圧力電圧  $V$  により出力ドリフトを消去することにより、正確な上流側圧力  $P_1$  が導出される。

【0056】また、ガス温度  $T$  がガス温度補正手段 68 に入力されると、物性データと合わせて正確な比例定数  $K$  が算出され、この比例定数  $K$  と上流側圧力  $P_1$  により演算流量  $Q_c$  が  $Q_c = KP_1$  として算出される。この演算流量  $Q_c$  は D/A 変換器 72 と固定増幅器 74 を介して出力され、図示しない外部表示装置に表示される。

【0057】流量設定手段 18 から目的流量として入力された設定流量  $Q_s$  は、固定増幅器 76 と A/D 変換器 78 を介して比較手段 19 に入力される。一方、ガス温度補正手段 68 から演算流量  $Q_c$  が比較手段 19 に入力され、流量差  $\Delta Q$  が  $\Delta Q = Q_c - Q_s$  として計算され、バルブ駆動部 20 に出力される。

【0058】バルブ駆動部 20 は、この流量差  $\Delta Q$  をゼロにするようにコントロールバルブ 22 の弁開度を開閉調整し、この開閉によって上流側圧力  $P_1$  が制御される。この結果、 $\Delta Q$  はゼロとなり、演算流量  $Q_c$  は設定流量  $Q_s$  に一致するように自動制御される。

【0059】図 8 は、本発明に係るゼロ点補正手段 62 の作動フロー図である。ステップ m1 でガス温度  $T$  を入力され、m2 ではメモリ手段 64 の相対比率データを基にガス温度  $T$  での相対比率  $k(T)$  を導出する。

m3では、この相対比率 $k(T)$ と圧力センサ10の出力電圧 $v$ からゼロ点出力ドリフト電圧 $v_0$ を演算し、m4でこの電圧 $v_0$ を反転させた後、m5で $-v_0$ をオフセット端子42に印加する。このようにして、ゼロ点が補正される。

【0060】図9は、本発明に係るスパン補正手段66の作動フロー図である。ステップn1ではガス温度 $T$ が入力される。同時に、n2では圧力センサ10により計測された出力電圧 $v$ がゼロ点補正されて圧力電圧 $V$ として入力される。

【0061】n3では、メモリ手段64の相対比率データを基礎にしてガス温度 $T$ でのドリフトの相対比率 $\Delta(T)$ が導出される。n4では、この相対比率 $\Delta(T)$ と前記圧力電圧 $V$ から温度補正されて温度補正出力電圧 $V'$ が算出され、この温度補正出力電圧 $V'$ が正確な上流側圧力 $P_1$ となる。n5では、この上流側圧力 $P_1$ がガス温度補正手段68に入力される。

【0062】図10は、本発明に係る非臨界条件を利用した圧力式流量制御装置による流量制御の構成図である。この圧力式流量制御装置2は、供給される流体が非臨界条件にある場合、即ちオリフィス4から流出する流体の流体速度が音速より低い場合を前提としている。

【0063】流体が非臨界条件にあるとき、オリフィス通過流量の理論流量式の一つは、非圧縮性流体に対して成立するベルヌーイの定理から導出したもので、 $Q=K P_2^{1/2} (P_1 - P_2)^{1/2}$ で与えられる。この実施形態では、この理論流量式を使用して、ガス流量を制御する。

【0064】この流量式では、オリフィス通過量 $Q$ は上流側圧力 $P_1$ と下流側圧力 $P_2$ を使用して演算される。従って、上流側圧力センサ10により上流側圧力 $P_1$ を測定し、下流側圧力センサ12により下流側圧力 $P_2$ を常に計測しながら、演算流量 $Q_c$ を $Q_c = K P_2^{1/2} (P_1 - P_2)^{1/2}$ で算出する。

【0065】図1との相違点は、下流側圧力 $P_2$ を下流側圧力センサ12により測定して制御回路16に入力する電子回路系及びソフト系が付加されることである。この電子回路系及びソフト系としては、上流側圧力センサ10に連続する電子回路系及びソフト系と同一のものがそのまま並行して配置される。

【0066】図11は図10の制御回路の詳細ブロック構成図である。電子回路系としては、下流側圧力センサ12に連続して、固定増幅器(AMP)、可変増幅器(VAMP)、表示用の可変増幅器(VAMP)、A/D変換器及びオフセット用のD/A変換器がある。これらの電子回路系はCPU41の入力系に配置される。

【0067】また、ソフト系としては、上流側圧力センサ10のソフト系を共用する。即ち、下流側圧力センサ12のゼロ点出力ドリフトとスパン出力ドリフトのデータを格納するメモリ手段64、これらのデータを使用してゼロ点出力ドリフトを補正するゼロ点補正手段62と

スパン出力ドリフトを補正するスパン補正手段66がある。これらのソフト系はCPU41の中に構成される。

【0068】このような電子回路系とソフト系を配置し、制御回路16の中に $Q_c = K P_2^{1/2} (P_1 - P_2)^{1/2}$ を演算する流量演算手段16を配置し、同時に流量差 $\Delta Q = Q_s - Q_c$ を演算する比較手段19を配置して、目的とする流量を得るように流量制御を行なう。他の部材の作用・効果は図1と同様であるから、その説明を省略する。

10 【0069】図12は、本発明に係る非臨界条件を利用した改良型圧力式流量制御装置による流量制御の構成図である。この圧力式流量制御装置2は、供給される流体が非臨界条件にある場合を前提としているが、改良された理論流量式を使用する。

【0070】実際のガス流体は膨張性と圧縮性を有しているため、非圧縮性を前提としたベルヌーイの定理は近似的にしか成立しない。従って、 $Q_c = K P_2^{1/2} (P_1 - P_2)^{1/2}$ で表される流量式は近似式でしかない。本発明者等は、この近似式を改良して実際の流量を高精度に再現できる流量式を検討した。

20 【0071】この改良された流量式として、 $Q_c = K P_2^m (P_1 - P_2)^n$ を使用することにした。指数として二つのパラメータ $m$ 、 $n$ を使用し、実際の流量をこの流量式でフィットすることにより、 $m$ と $n$ を導出した。得られた値は、 $m=0.47152$ 、 $n=0.59492$ であった。これらのパラメータを使用することにより、実際の流量を高精度に再現する事ができた。

【0072】この実施形態では、改良された流量式を用いて流量演算手段17を構成しており、この点を除けば図10に示す実施形態と全く同様である。即ち、上流側圧力センサ10と下流側圧力センサ12の温度ドリフトを補正する構成は図11と同一であるから、その説明は省略する。

【0073】上述では、本発明を圧力式流量制御装置について説明したが、圧力センサ自体の温度ドリフト(ゼロ点出力ドリフトとスパン出力ドリフト)の補正にも適用できる。また、圧力センサが組み込まれた圧力制御装置の温度ドリフト補正にも使用できる。

【0074】本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想を逸脱しない範囲における種々の変形例・設計変更などをその技術的範囲内に包含することは云うまでもない。

【0075】

【発明の効果】請求項1の発明によれば、圧力センサ自体の出力の温度ドリフトを消去補正する温度ドリフト補正手段を設けることによって、正確に圧力を検出できる圧力センサを提供できる。

【0076】請求項2の発明によれば、圧力センサとコントロールバルブを有した圧力制御装置において、圧力センサの出力の温度ドリフトを消去補正する温度ドリフ



ト補正手段を設けることによって、圧力を正確に検出しながら精密に圧力制御できる圧力制御装置を提供できる。

【００７７】請求項３の発明によれば、流体温度と上流側圧力センサの出力ドリフトの関係を格納するメモリ手段と、流体温度が変化した場合にメモリ手段のデータから上流側圧力センサの出力ドリフト量を演算し、この演算出力ドリフト量により上流側圧力センサの出力ドリフトを消去補正する温度ドリフト補正手段を有するから、どのような温度特性を有する圧力センサを用いても、その温度特性をメモリ手段に格納するだけで、上流側圧力  $P_1$  を正確に検出することができる。従って、 $Q_c = K P_1$  を流量式として使用する圧力式流量制御装置において、正確な流量制御を達成することができる。

【００７８】請求項４の発明によれば、流体温度と上流側圧力センサ及び下流側圧力センサの出力ドリフトの関係を格納するメモリ手段と、流体温度が変化した場合にメモリ手段のデータから上流側圧力センサ及び下流側圧力センサの出力ドリフト量を演算し、この演算出力ドリフト量により上流側圧力センサ及び下流側圧力センサの出力ドリフトを消去補正する温度ドリフト補正手段から構成されるから、どのような温度特性を有する圧力センサを用いても、その温度特性をメモリ手段に格納するだけで、上流側圧力  $P_1$  と下流側圧力  $P_2$  を正確に検出することができる。従って、 $Q_c = K P_2^{1/2} (P_1 - P_2)$  又は  $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^n$  を流量式として使用する圧力式流量制御装置において、正確な流量制御を達成することができる。

【００７９】請求項５の発明によれば、圧力がゼロのときに流体温度と圧力センサのゼロ点出力ドリフトの関係をメモリ手段に格納するから、流体温度が任意の温度に変化してもメモリ手段のデータからゼロ点出力ドリフト量が演算でき、この演算ゼロ点出力ドリフト量により圧力センサのゼロ点出力ドリフトを消去補正することができる。

【００８０】請求項６の発明によれば、任意圧力のときに流体温度と圧力センサのスパン出力ドリフトの関係をメモリ手段に格納するから、任意の圧力状態で流体温度が任意温度に変化してもメモリ手段のデータからスパン出力ドリフト量を演算でき、この演算スパン出力ドリフト量により圧力センサのスパン出力ドリフトを自動的に消去補正することができる。

【００８１】請求項７の発明によれば、流通するガス流体の温度がどのように変化しても、正確にガスの圧力を検出でき、半導体製造装置や化学品製造装置などにおいてガス流体の制御効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明に係る臨界条件を利用した圧力式流量制御装置による流量制御の構成図である。

【図２】圧力式流量制御装置のゼロ点出力ドリフト補正用の簡易ブロック回路図である。

【図３】ゼロ点出力ドリフト補正とフルスケール設定の説明図である。

【図４】圧力センサの出力ドリフトを測定する説明図である。

【図５】圧力センサのゼロ点出力ドリフト（ZERO DRIFT）の温度特性図である。

【図６】圧力センサの出力ドリフト（SPAN DRIFT）の温度特性図である。

【図７】圧力式流量制御装置の制御回路の詳細ブロック構成図である。

【図８】本発明に係るゼロ点補正手段６２の作動フロー図である。

【図９】本発明に係るスパン補正手段６６の作動フロー図である。

【図１０】本発明に係る非臨界条件を利用した圧力式流量制御装置による流量制御の構成図である。

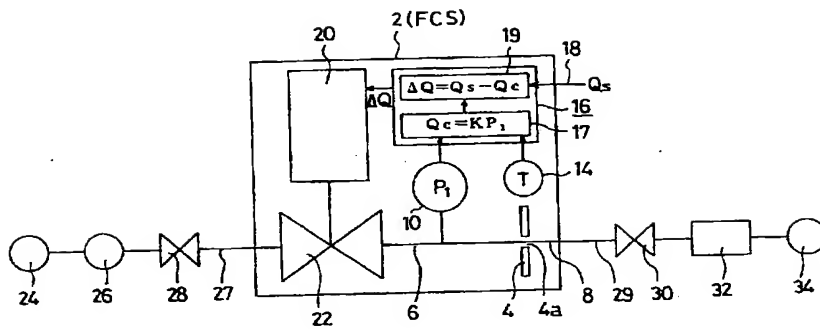
【図１１】図１１は図１０の制御回路の詳細ブロック構成図である。

【図１２】本発明に係る非臨界条件を利用した改良型圧力式流量制御装置による流量制御の構成図である。

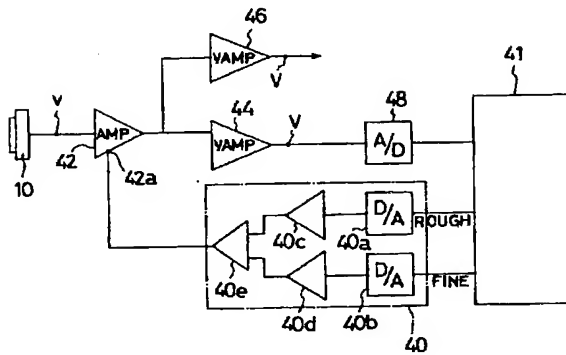
【符号の説明】

２は圧力式流量制御装置、４はオリフィス、４ａはオリフィス孔、６は上流側配管、８は下流側配管、１０は上流側圧力センサ、１２は下流側圧力センサ、１４は温度センサ、１６は制御回路、１７は流量演算手段、１８は流量設定手段、１９は比較手段、２０はバルブ駆動部、２２はコントロールバルブ、２４はガスタンク、２６はレギュレータ、２７は供給側配管、２８はバルブ、２９は制御側配管、３０はバルブ、３２はチャンバー、３４は真空ポンプ、４０はオフセット用Ｄ／Ａ変換器、４０ａは粗調整用Ｄ／Ａ変換器、４０ｂは微調整用Ｄ／Ａ変換器、４０ｃはパッファ、４０ｄはパッファ、４０ｅはパッファ、４１はＣＰＵ、４２は固定増幅器、４２ａはオフセット端子、４４は可変増幅器、４６は可変増幅器、４８はＡ／Ｄ変換器、５０は恒温槽、５２は基準圧力発生器、５６は固定増幅器、５８はＡ／Ｄ変換器、６０は温度ドリフト補正手段、６２はゼロ点補正手段、６４はメモリ手段、６６はスパン補正手段、６８はガス温度補正手段、７２はＤ／Ａ変換器、７４は固定増幅器、７６は固定増幅器、７８はＡ／Ｄ変換器、ＤＰは真空ポンプ、 $P_1$ は上流側圧力、 $P_2$ は下流側圧力、 $Q_c$ は演算流量、 $Q_s$ は設定流量、 $\Delta Q$ は流量差、 $v_0$ はゼロ点出力ドリフト電圧、 $v$ は出力電圧、 $V$ は圧力電圧。

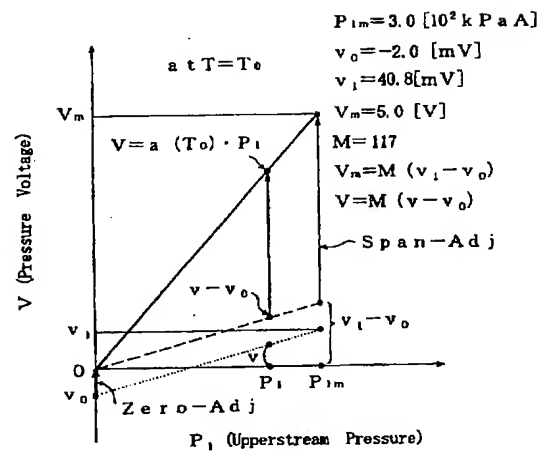
【図1】



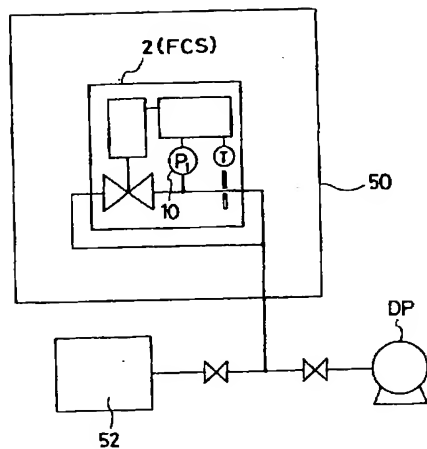
【図2】



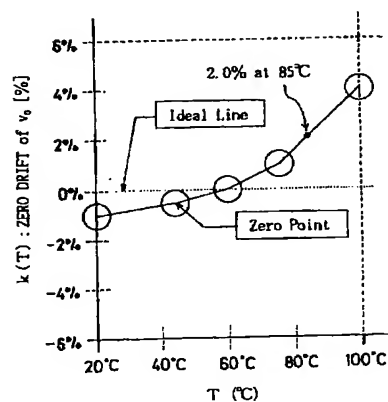
【図3】



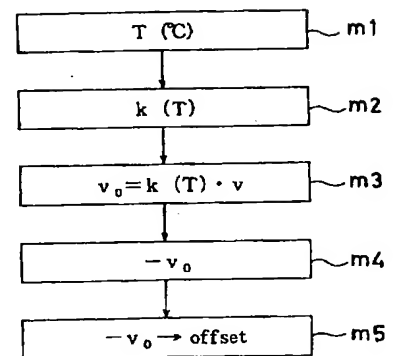
【図4】



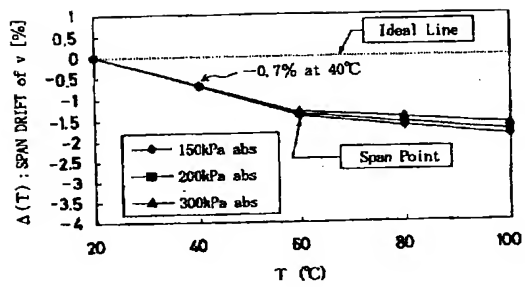
【図5】



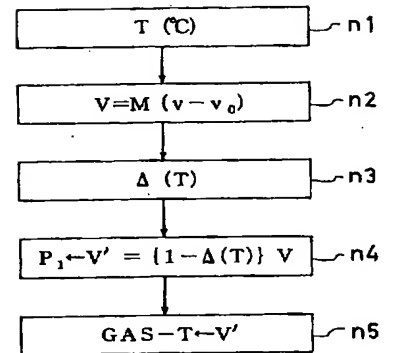
【図8】



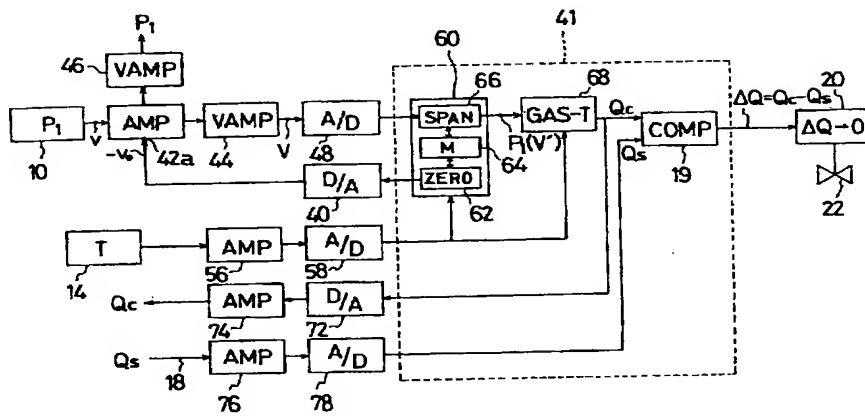
【図6】



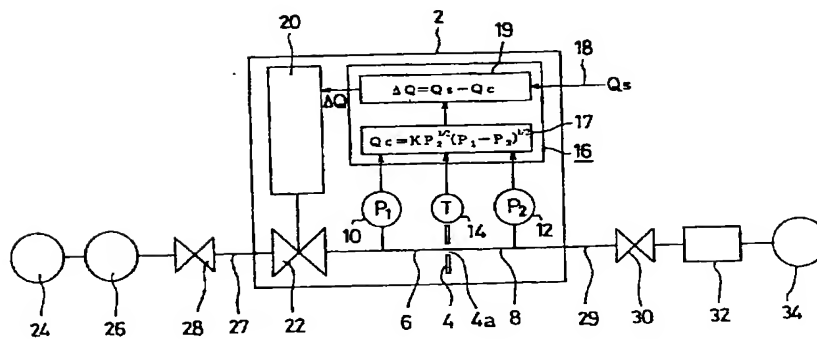
【図9】



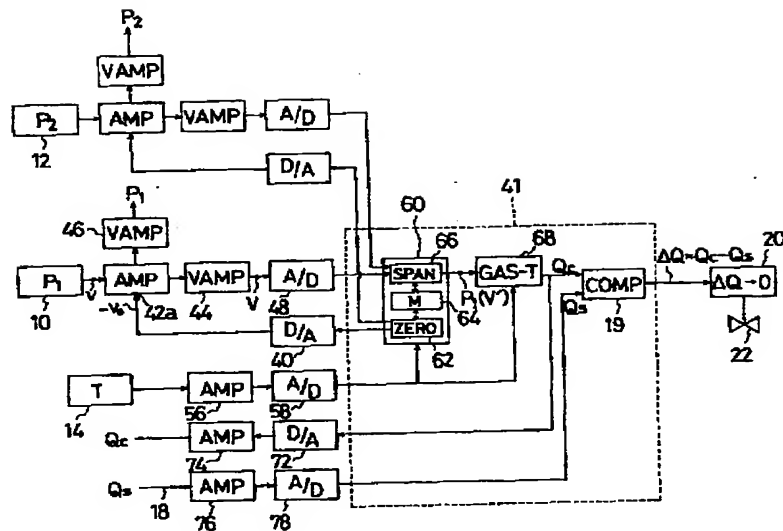
【図7】



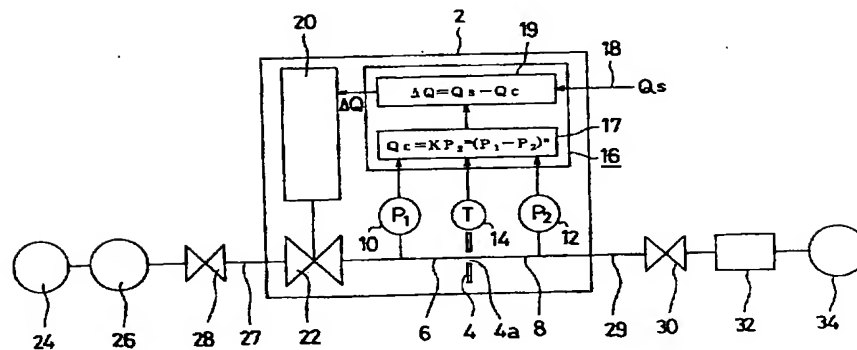
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 大見 忠弘

宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2丁目1番17-301号

(72)発明者 杉山 一彦

山梨県韭崎市藤井町北下条2381番地の1  
東京エレクトロン株式会社内

(72)発明者 西野 功二

大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号  
株式会社フジキン内

(72)発明者 宇野 富雄

大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号  
株式会社フジキン内

(72)発明者 中村 修

大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号  
株式会社フジキン内

(72)発明者 松本 篤諾

大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号  
株式会社フジキン内

(72)発明者 土肥 亮介

大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号  
株式会社フジキン内

(72)発明者 池田 信一

大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号  
株式会社フジキン内

Fターム(参考) 2F030 CC11 CD15  
2F055 AA39 BB03 BB05 CC60 DD20  
EE40 FF02 GG32  
5H316 AA01 BB01 CC08 DD08 EE02  
ES06 FF02 FF06 FF17 FF23  
GG01 GG11 HH04 HH12 JJ03  
JJ13 KK02 KK04